



جمعية المهندسين الملكيين المصريين

تأسست في ٣ ديسمبر سنة ١٩٢٠

ومعتمدة بمرسوم ملكي بتاريخ ١١ ديسمبر سنة ١٩٢٢



الطرق العملية الحديثة

لحساب الانشاءات

للمركنور سيد عبد الواسع

ألقيت بجمعية المهندسين

يوم ١٢ مايو سنة ١٩٣٢

ESEN-CPS-BK-0000000318-ESE

00426392



جمعية المهندسين الملكيين المصريين

تأسست في ٣ ديسمبر سنة ١٩٢٠

ومعتمدة بمرسوم ملكي بتاريخ ١١ ديسمبر سنة ١٩٢٢



الطرق العملية الحديثة

لحساب الانشاءات

للدكتور سبير عبد الواهر

أقيمت بجمعية المهندسين

يوم ١٢ مايو سنة ١٩٣٢

الطرق العملية

لحساب الانشاءات



لفحص الانشاءات توجد غير الطرق النظرية طرق
عملية ذات أهمية معترف بها في الوقت الحاضر
وتنقسم الطرق العملية الى قسمين :

أولاً — تجارب ومقاييس على انشاءات موجودة .
وتستعمل نتائجها عادة للحكم على متانة الانشاء الذي أجريت
عليه التجربة قبل استعماله وليس من المتيسر تكوين
نظريات عامة بناء على مثل هذه التجارب لأن كل بناء له
خواص ينفرد بها تتوقف الى درجة كبيرة على تكوين
مادته وتركيب أجزائه وطريقة تحميله فلا يصح تعميم نتائجها .

ثانياً — تجارب وابحاث تعمل على نماذج مصغرة
للانشاءات وهي ذات فائدة كبيرة في دراسة المشروعات إذ
يمكن بواسطتها دراسة حلول مختلفة في وقت قصير ويمكن

تطبيق نتائجها على الحالات المماثلة إذ أن مادتها وتفاصيل أجزائها وطرق تحميلها معروفة .

وتجرى الحسابات النظرية عادة على شكل هندسى يمثل الانشاء بعد إدخال تسهيلات وفروض قد تكون ذات تأثير كبير فى دقة النتائج .

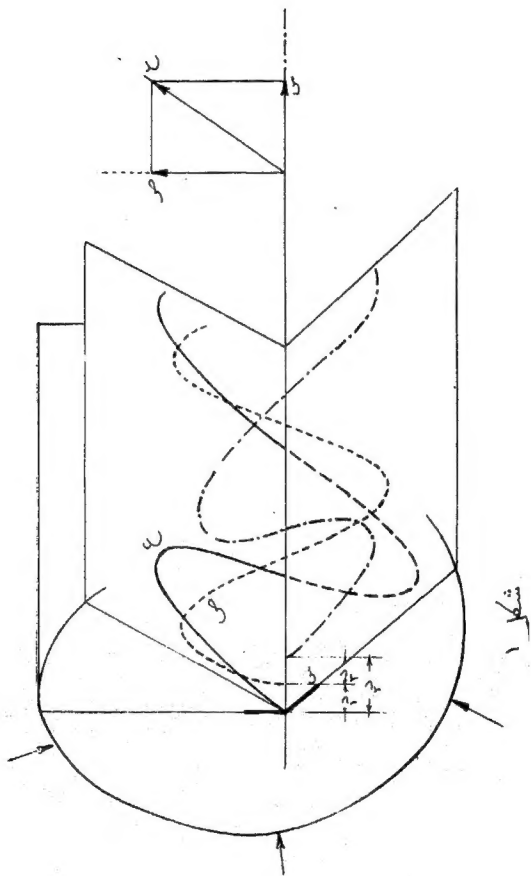
ويسرنى أن اقرر بأنه فى جميع الأحوال التى اشتركت فى فحصها كانت النماذج أقرب الى الحقيقة من الحسابات البحتة .

ويمكن بواسطة النماذج تتبع الغرضين التالين :

أولاً — فحص طرق الحساب الموجودة وتحسينها أو تكميلها .

ثانياً — فحص الانشاءات التى ما زالت الطرق النظرية عاجزة عن الالام بها من جميع نواحيها .

وموضوعنا اليوم هو شرح الطرق العملية المستعملة لفحص نماذج الانشاءات وتعرف كيفية تأثير القوى عليها .



ولا يخفى أن المهندس المصمم يحتاج عدا ذلك إلى معرفة
المادة المستعملة في الانشاء وتحديد الاحمال والمؤثرات التي
يتعرض لها .

طريقة الأشعة .

تستعمل هذه الطريقة لتحديد قيم الجهود وتوزيعها
في النماذج تحت تأثير قوى تعمل في مستوياتها .

وهذه الطريقة مبنية على خاصية الانكسار المزدوج
للأشعة عند مرورها في لوح شفاف به جهود التي اكتشفها
« فرتهايم » ووضع نظريتها « نوياف » في سنة ١٨٤١
وتتخلص فيما يأتي :

إذا مر شعاع ضوئي في جسم شفاف به جهود فإنه
يتحلل بعد خروجه إلى شعاعين اتجاههما هو نفس اتجاه
الجهدين الرئيسيين

ففي شكل (١) يتحلل الشعاع ع الى مركبتين س و ص
ويتناسب فرق سيرهما د مع فرق الجهدين الرئيسيين

أى أن $D = K (J - J_0)$

وأمكن الأستاذ « مناجيه » يباريس فى أوائل القرن الحالى الاستفادة من هذه الخاصية لتعيين قيمة الجهدين وذلك بعد الاستعانة بقياس تغيير سمك النموذج الذى يتناسب مع مجموع الجهدين .

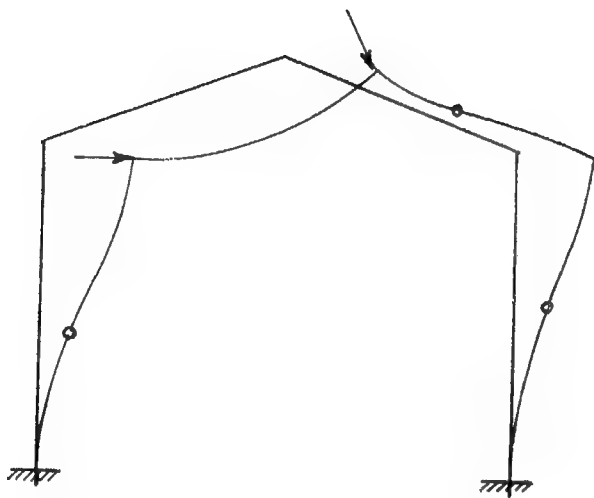
ولما كان قياس تغيير سمك النموذج بالطرق الميكانيكية المعروفة سبباً فى عدم دقتها إلى الدرجة المطلوبة فكر الدكتور « فاقر » بزورنخ فى الاستغناء عن هذا القياس بأيجاد علاقة أخرى بين الجهدين الرئيسيين وفرق السير بين المركبتين والشعاع الأصلى D_0 وهذه العلاقة هى :

$$D_0 = (J_0 + J - J_0)$$

وتتوقف قيم الثوابت K و J_0 على مادة النموذج وطول موجة الشعاع المستعمل .

وأما القيم D_1 ، D_2 ، D_3 فتقاس بعد تحميل النموذج بواسطة جهاز يسمى « المعوض الضوئى »

ويمكن بهذه الطريقة الحصول على قيم الجهود بدقة



شماره ۲

تريد على حاجة المهندس المصمم ولكنها تحتاج إلى أجهزة كثيرة ووقت طويل مما جعل استعمالها مقصورا على معامل الابحاث الطبيعية

طريقة ريكهوف

تستعمل هذه الطريقة في حساب العمارات وتعمل نماذج من شرائط صلب رفيعة تمثل محاور أضلاع البناء

ويشد النموذج في اتجاه القوى المراد معرفة تأثيرها بحيث يتغير شكله بدرجة ظاهرة ثم تحدد مواقع نقط الانقلاب شكل (٢) وفيها الانحناء يساوى صفرا بواسطة جهاز تعيين التقوس وبعد ذلك يسهل تقسيم الانشاء الى أجزاء متزنة تحت تأثير القوى الخارجية والقوى الداخلية في نقط الانقلاب فتحسب القوى والعزم المطلوب إيجادها

وتؤدي هذه الطريقة خدمات كبيرة في حساب العمارات بسرعة ولكن دقة نتائجها قد تكون غير كافية في بعض الأحوال لأن التغيرات الشكلية الكبيرة يتبعها اختلاف المواقع النسبية للقوى ويضعب عمل نماذج من الشرائط

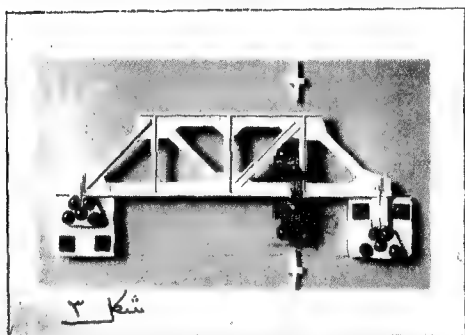
الصلب للانشاءات المعقدة خصوصا اذا كان بها أضلاع غير
مستقيمة مثل الكبارى

طريقة الاستاذ « بجز » الولايات المتحدة

تستعمل فى هذه الطريقة نماذج من الورق المقوى أو
السلولويد تثبت فى وضع أفقى وتعطى تغيرات شكلية
بواسطة جهاز « بجز » فيأخذ خط الطريق شكل خطوط
التأثير وتقاس أحداثياتها ميكروسكوبيا ويرى فى شكل
(٣) نموذج من السلولويد لكهرة شبكية مثبت فيه جهاز
الأستاذ « بجز » لأحداث التغيرات الشكلية اللازمة

وتستعمل هذه الطريقة بكثرة فى حساب الكبارى
فى الولايات المتحدة

وقد لوحظ أثناء تطبيقها فى قلم كبارى سلك حديد
سويسرا أن جهاز « بجز » لا يعطى القيم المطلوبة للتغيرات
الشكلية ويجب أن تكون صحيحة لأقرب جزء من المليمتر
ولذلك تتأثر النتيجة بأى خطأ يحدث من الجهاز



من ذلك نشأت فكرة البحث عن جهاز آخر أكثر
دقة وقد تمكن الأستاذ « مانيل » ببلجيكا في سنة ١٩٢٧
من ادخال تحسين على جهاز الأستاذ « بجز »
ثم أمكن الاستغناء عن هذه الأجهزة باستعمال طريقة
« المفصلة » في سنة ١٩٢٩ .



طريقة المفصلة

ويمكن بواسطتها فحص النماذج المستوية والفراغية بدون الحاجة إلى جهاز لأحداث التغيرات الشكلية وتتلخص الفكرة الأساسية التي بنيت عليها هذه الطريقة فيما يلي :

يوجد بين التغيرات الشكلية للأنشاءات والقوى المسببة لها ارتباط محدود وينص قانون « هوك » على أن نسبة الجهود إلى التغيرات الشكلية ثابتة وتساوى معامل المرونة وتبنى جميع طرق الحساب الحالية على أن العلاقة بين القوى والتغيرات الشكلية هي معادلة من الدرجة الأولى

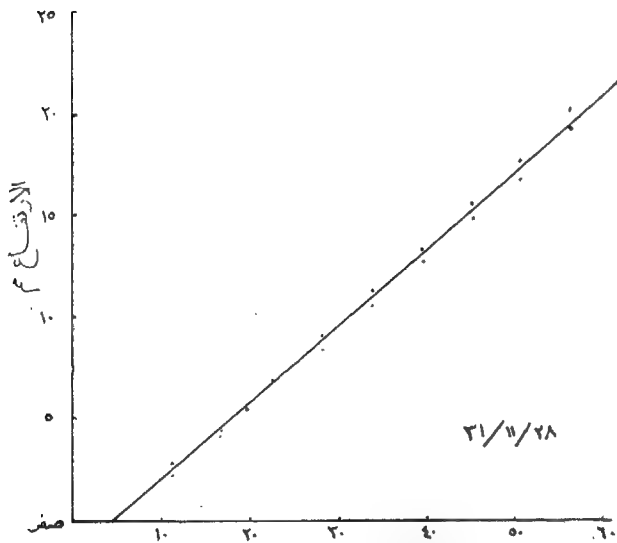
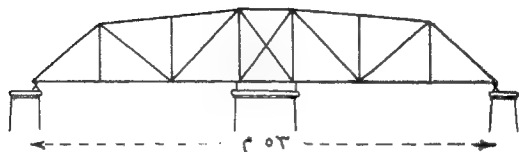
فإذا رمزنا للتغير الشكلي في أى نقطة بالحرف « ت » وللقوى المسببة بالأحرف ق_١ ق_٢ ق_٣ ... و... أمكننا وضع المعادلة بالشكل الآتى

$$ت = ك_١ ق_١ + ك_٢ ق_٢ + ك_٣ ق_٣$$

ك_١ ك_٢ ك_٣ أعداد ثابتة تتوقف على شكل ومادة الأنشاء وموضع القوى

كبرى ادوينا

- تجربة الفخذ المتحركة -



المحمل على الكراسى بالطن

شكل ٥

وقد أثبتت التجارب التي أجريت على الانشاءات الحديدية صحة هذه النظرية ويرى من نتيجة تجربة الفتحه المتحركة لكوبرى أديننا أن النسبة ثابتة بين الحمل على الكراسى وارتفاع طرف الكمر (شكل ٥)

وكذلك تدل تجارب الانشاءات الخرسانية على أنه للأحمال الصغيرة المعتادة يصح تطبيق هذه النظرية أما للأحمال الكبيرة فلا يمكن تطبيقها بدقه لأن معامل مرونة الخرسانة يتناقص كلما زاد الحمل

ومن ذلك يتضح إمكان الاستدلال على الكميات الاستاتيكية المجهولة بواسطة قياس التغيرات الشكلية

فاذا أردنا معرفة قيمة عزم الانحناء فى إحدى نقط انشاء أو نموذج يمثل حذفنا هذا العزم المجهول بواسطة مفصلة توضع فى نقطة تأثير العزم فيتغير الترخيم بمقادير مناسبة للعزم المحذوف ويمكن من هذا التغير الاستدلال عليه

وكما أنه يمكن حذف عزم الانحناء بواسطة المفصلة يمكن أيضا حذف القوى المحورية وقوى القص بقطع

النموذج في مكان تأثيرها واستنتاج قيمها من تغيير الترخيم
وفي أغلب الأحيان يمكن الاكتفاء بمعرفة عزوم
الأنحاء في نقط مختلفة من الانشاء وحساب الجهود والقوى
الأخرى عن طريقها ومن ذلك نشأت التسمية « طريقة
حذف العزم » أو « طريقة المفصلة »

النظرية الأساسية وبرهانها

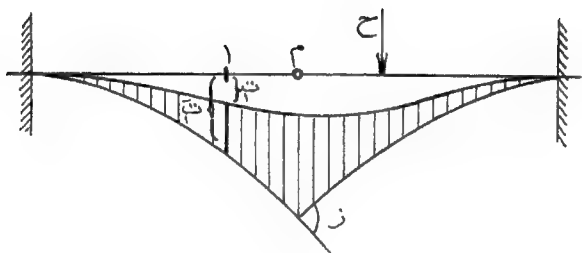
« أحداثيات التأثير لأي كمية استاتيكية تناسب مع
فرق الترخيم في الانشاء قبل وبعد حذف هذه الكمية
ومقياس التناسب هو عبارة عن التغيير الشكلي في اتجاه
الكمية المجهولة بعد حذفها »

البرهان (شكل ٤)

نفرض أن

م = عزم الانحاء في نقطة الوسط بناء على الحمل
الاختياري « ح »

م_١ = أحداثى التأثير في نقطة (١) لعزم الانحاء
في الوسط



شکل ۴

ت_١ = الترخيم في نقطة (١) قبل حذف العزم «م»

ت_٢ = » » » » بعد » » » »

ز_١ = الزاوية الناشئة من الحمل الاختياري «ح»

ز_٢ = » » » وحدة الحمل في نقطة (١)

والمطلوب برهان أن

$$\frac{\text{فرق الترخيم}}{\text{الزاوية}} = \text{أى} \frac{ت_١ - ت_٢}{ز_١} = \text{م}$$

بما أن التغير الشكلي يتناسب مع الحمل المسبب

$$\frac{ز_١}{م} = \frac{ز_٢}{\text{م}} \text{ أو } \frac{ز_١}{م} = \frac{ز_٢}{\text{م}}$$

وكذلك .

ت_١ - ت_٢ = م . ت_١ = م أى أن فرق الترخيم

الناشئ من «م» = فرق الترخيم الناشئ من وحدة

العزم × م

وحسب نظرية مكسويل

$$ت_١ = ت_٢ = ز_١$$

أو

$$ت_1 - ت_2 = م \cdot ز_1$$

$$\frac{ت_1 - ت_2}{ز_1} = م \quad \text{العزم}$$

$$\text{وباستعمال التناسب } \frac{ز_1}{م} = \frac{ز_2}{م} \quad \text{نجد أن}$$

$$\frac{ت_1 - ت_2}{ز_1} = \frac{ت_2 - ت_3}{ز_2} \quad \text{وهو المطلوب}$$

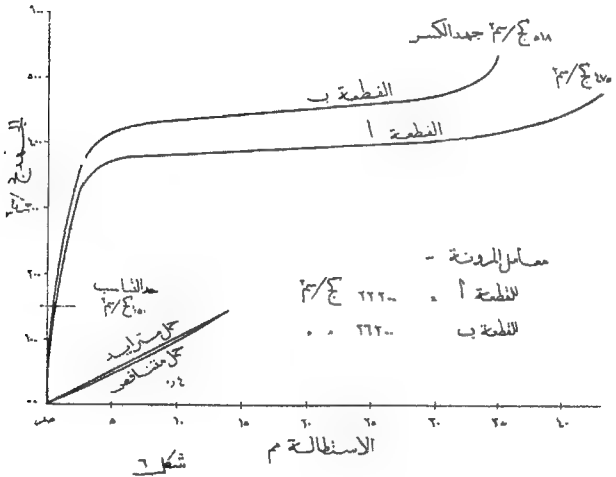
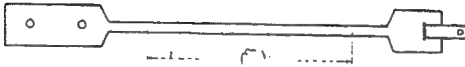
ويمكن تعميم البرهان ليسرى على أى كمية استاتيكية
غير العزم مثل القوى والقص والتغيرات الشكلية وخلافها.

النماذج

مادتها وطرق عملها

تعمل النماذج من السلولويد (المادة التي تعمل منها
مثلثات الرسم) وهو مركب من نترات القطن والكافور

مخرقة الشد على مادة السلولويد



ويباع بشكل ألواح يختلف سمكها من ١ و . ملليمتر إلى ١٥ ملليمترًا ومساحتها حوالي متر مربع وهو متجانس التركيب. ويصلح للغرض لسهولة لحام أجزائه بواسطة سائل الأسيتون الذي يذيب السلولويد

وأما خواص المرونة لهذه المادة فهي مناسبة لأحداث. تغييرات شكلية كبيرة يسهل قياسها إذ أن معامل مرونته نحو مائة مرة أقل من معامل مرونة الحديد

وقد أجريت تجارب كثيرة على هذه المادة لمعرفة خواصها وأمكن الحصول على القيم الآتية : (شكل ٦)

$$\text{معامل المرونة} = 24000 \text{ كج / سم}^2$$

$$\text{معامل الالتواء} = 8500$$

$$\text{نسبة تغير الطول في اتجاهين متعامدين} = 2\frac{1}{2}$$

وتستعمل هذه القيم في المسائل ذات البعدين كالأسقف وغيرها

ويوصى الأستاذ «بجز» باستعمال الورق المقوى لصناعة

النماذج ولكن لاحظنا أن بهذه المادة اليافا تجعل تركيبها غير متجانس فيختلف معامل مرونتها في اتجاه الياف عنه في الاتجاهات الأخرى

مقاييس النماذج وعلاقتها بالانشاء

يشترط في النماذج أن تتناسب تغيراتها الشكلية مع مرادفاتها في الانشاء تحت تأثير نفس القوى بمعنى أنه للحصول على التغيرات الشكلية للانشاء يكفي ضرب قيم التغيرات الشكلية التي تشاهد على النموذج في عدد ثابت « هـ » يسمى معامل الترخيم وهو عبارة عن مقياس تصغير سمك النموذج « ك » مضروبا في نسبة معامل المرونة للمادتي الانشاء والنموذج (هـ ٦ هـ)

$$\frac{h}{k} = \frac{H}{K}$$

ويلاحظ من هذا القانون أن معامل الترخيم لا يتوقف على مقياس تصغير أطوال النموذج ومعنى ذلك أننا إذا عملنا نموذجين لانشاء ما أحدهما بمقياس ١/١ والآخر بمقياس ١/١٠

مثلا لو وجدنا أن الترخيم في النموذجين واحد لنفس الحمل على فرض تساوى سمكى النموذجين ولكن تفضل النماذج الكبيرة لسهولة صنعها وامكان تحميلها بأحمال أكبر ولتحقيق الشرط الأساسى فى النماذج وهو وجود نسبة ثابتة بين التغيرات الشكلية فيها ومقابلاتها فى الانشاء وضعت القواعد الآتية

أولا : يشترط أن يكون شكل النموذج مشابها لشكل الانشاء من حيث محاور الأعضاء المختلفة على الأقل

ثانيا : اذا كان مقياس تصغير الطول « ل » ومقياس تصغير السمك « ك » وجب أن يكون مقياس تصغير المساحات $ك \times ل$

ثالثا : مقياس تصغير عزم القصور الذاتى $ك^3 ل$ ويمكن بنظريات المرونة برهنة أن هذه الشروط كافية لجعل المعامل النسبى للتخيم مساويا للقيمة السابق ذكرها ولا يشترط تمام التشابه فى جميع تفصيلات الانشاء وهذا يجعل عمالية تشغيل النماذج سهلة بحيث يمكن للمهندس المصمم عملها بنفسه

تطبيقات

- ١ - جالون الحمل سقف أفقي . شكل (٧) المطلوب :
- ١ - تعيين عزم الانحناء في وسط الكمرة العلوية تحت تأثير حمل موزع .
- ٢ - إيجاد خط تأثير عزم الانحناء في وسط الكمرة العلوية .

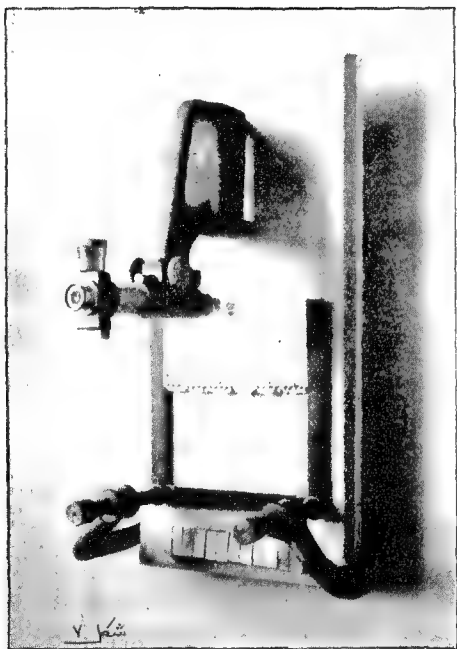
١ - أجرينا تعليق الحمل الموزع وقدره ١ر٢ كيلو جرام على شرائط من المطاط كما في شكل (٧) ثم عينا الترخيم في نقطة الوسط فكان ١٩٨ و٠٠ مليمتراً . بعد ذلك وضعت المفصلة وقيس الترخيم فكان ٦٢٤ و٠٠ مليمتراً .

وتبلغ الزاوية الناشئة من وحدة الحمل (واحد كيلو جرام) معلقاً في نفس النقطة ٠٢٤٥ ر .

فحسب النظرية الأساسية يكون عزم الانحناء : م =

$$\frac{\text{ت} - \text{ت}}{\text{ز}} = \frac{٠٠٦٢٤ - ٠٠١٩٨}{٠٠٢٤٥}$$

$$= ١٧٤ \text{ ك ج جم}$$



ب- بتعليق كيلو جرام واحد في وسط الكرة
حصلنا على القيم الآتية :

$$\text{الترخيم قبل وضع المفصلة ت} = ٠.٢٥٠ \text{ م}$$

$$\text{» بعد » ت} = ١.٠٤٥ \text{ م}$$

$$\text{زاوية الانقراج ز} = ٠.٢٤٥$$

وبذلك تكون قيمة احداثي التأثير في نقطة الوسط

$$\text{م} = \frac{\text{ت} - \text{ت}}{\text{ز}} = \frac{١.٠٤٥ - ٠.٢٥٠}{٠.٢٤٥}$$

$$= ٣.٢٤ \text{ كج م}$$

وهذه القيمة تختلف عن القيم المحسوبة بالطرق المعتادة
مما دعا الى تعديل الأخيرة باضافة تأثير الأركان كما يرى من
الجدول التالي .

طريقة المفصلة	حساب الطريقة الجديدة	الحساب باعتبار الأركان الصلبة	طرق الحساب المعتادة	
٣ ٢٤	٣.٢٤٧	٣ ١٢	٣.٣٣٦	عزم الانحناء
٠.١٣٠	٠.١٣٤	٠.١٤٣	٠.١٢٧	كج م الرفص كج

ويرى من هذا الجدول أن القيم حسب طريقة المفصلة متوسطة بين القيم المحسوبة وهذا يزيد الثقة في دقتها .

٢ — عقد مثبت الطرفين . (شكل ٨)

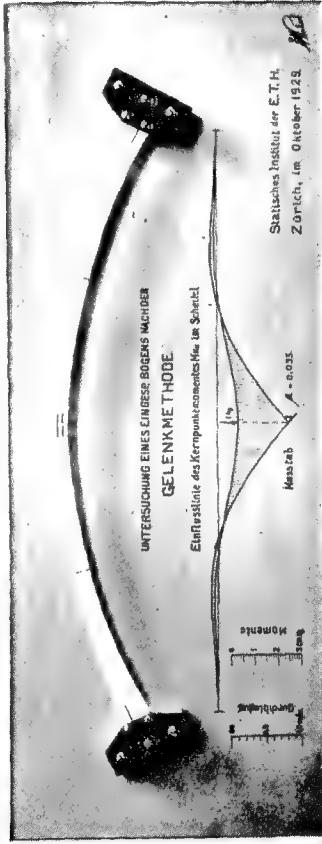
ثبت العقد وطوله ٤٠ سم على لوحة التجربة أفقياً ووضع تحته كرات من الصلب لمنع احتكاكه باللوحة ثم صار تحميله بواسطة ثقل مدلى على بكره وقيست قيم الترخيم بواسطة الميكروسكوب . ثم عملت المفصلة فى نقط الوسط والطرفين على التوالى . وقيست أحداثيات الترخيم وحسبت الفروقات بينها وبين الترخيم بدون مفصلة ومنها رسمت خطوط التأثير بعد القسمة على زوايا المفصلة كالمعتاد .

ويرى من الشكل (٩) أن نتيجة الحساب تتفق مع نتيجة القياس .

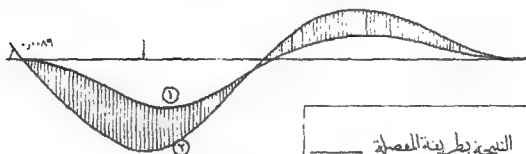
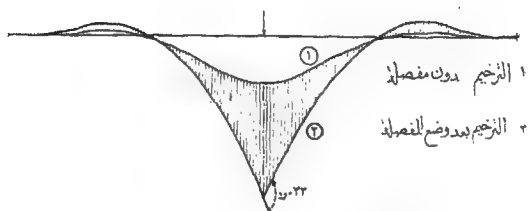
٣ — العقد الشبكي لكوبرى الورد باخ بقرب نفق الجوتهارد .

يتكون هذا الكوبرى كما فى الشكل (١٠) من عقد ذى مفصلتين عليه شبكة تحمل كرات الخط الحديدى .

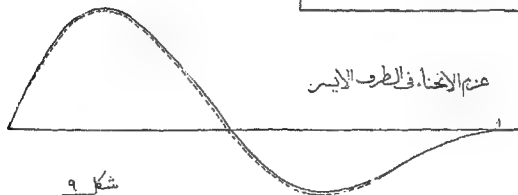
فحص عقد ثابت بطريقة المفصلة خط تأثير عزم الانحناء في الوسط



خطوط التأثير في العقد الثابت



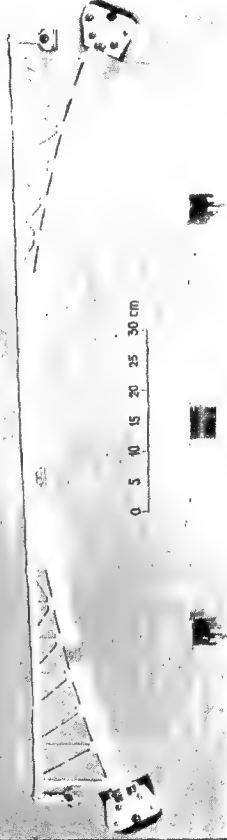
النتيجة بطريقة المفصلة
النتيجة بالحساب



نموذج كوبرى السوربيخ - خط اللجونتشارد

Schweizerische Bundesbahnen
Zelluloidmodell der Rohrbachbrücke

Modellmaßstab 1:30



شطر ١٠

ويمكن الحكم لأول وهلة بأن هذا الكوبرى يتعذر حسابه بالنظريات المعروفة . إذ أن حل المعادلات التي تربط المجاهيل الغير المحددة بقوانين التوازن يحتاج إلى عدة أشهر ويكون دائماً عرضة للخطأ .

ولذلك صار حسابه في قلم كبارى سكك حديد سويسرا بطريقة القطع الناقص التي وضعها « ريتز » في أواخر القرن الماضى .

وهذه الطريقة مبنية على فروض لم تتحقق تماماً في حالة هذا الكوبرى . مثل عدم انكماش أو انحراف القوائم التي تحمل السكة .

ولذلك وجدت فروقات كبيرة بين الحساب والحقيقة عند تجربة الكوبرى في سنة ١٩٢١ بمناسبة تمرير قاطرات كهربائية ثقيلة .

وقد أدى هذا الاختلاف الى عمل نموذج للكوبرى بمقياس ١ : ٥٠ كما في الشكل (١٠) وكان طوله ١٢٠ مترًا . وحمل في نقط مختلفة لتعيين خطوط التأثير حسب طريقة

المفصلة فحصلنا على النتائج الموضحة بالشكل (١١). ومنه يتضح أن الفرق كبير جداً بين الحساب والتجربة في حالة الأضلاع المائلة إذ تبلغ قيمة الشد الناشئ عن القاطرة ٢٧٠ كج على السنتيمتر المربع والقيمة المحسوبة ٥٥ كج / سم^٢ أي أنها تنقص ستة مرات عن الحقيقة .

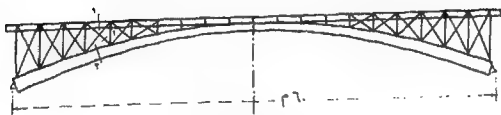
أما القيمة التي نتجت من فحص النموذج بطريقة المفصلة فتبلغ ٣٤٠ كج / سم^٢ بزيادة ٢٥ ٪ عن التجربة .

فاذا راعينا أن التجربة عملت على عقدين بينهما الكمرات الحاملة للقضبان وينشأ عنهما وعن الشكالات بعض التقوية وأن النموذج عمل لعقد واحد خالي من هذه التقوية أمكننا تحليل بعض الفرق المذكور .

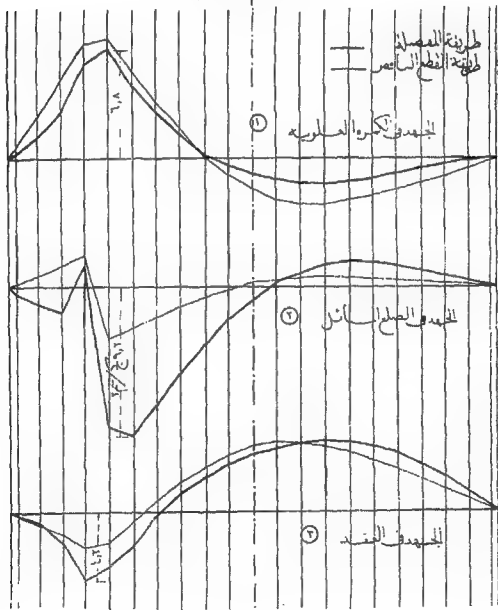
الأسقف

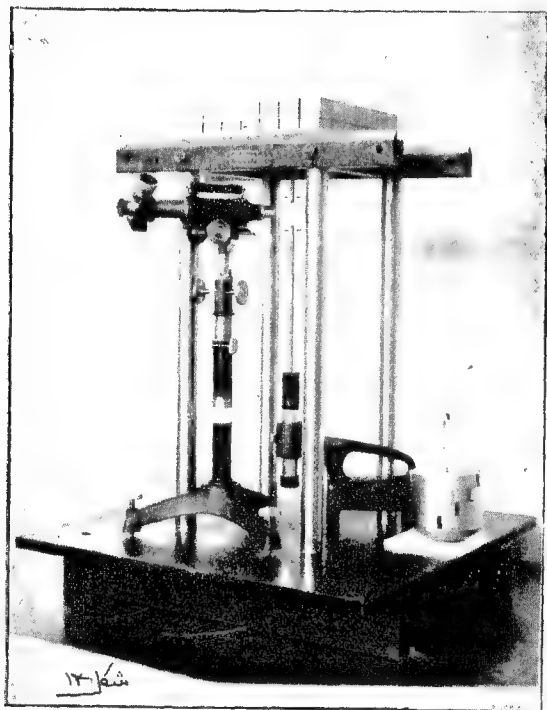
إذا تعدينا الانشاءات المستوية الى الانشاءات الفراغية . كانت الأسقف هي أولها بالفحص إذ أنه لا توجد حلول نظرية عامة لجميع حالاتها والمعادلات التفاضلية الأساسية لم

كبرى الوريث - بقر نفق الموتبار



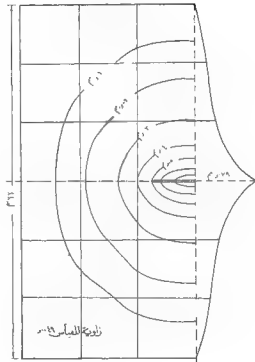
خطوط التأثير



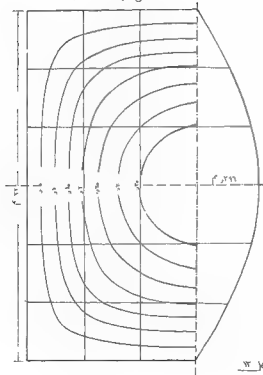


تجربة على سقف مربع

حظرت الأثيرة نعم الأخاء والوسط



الشكل الطاهر عرفه عبد الرحيم



تحمل بعد الا في حالات خاصة ولذلك فأن لموضوع الأسقف أهمية خاصة .

ويبين الشكل (١٢) جهاز فحص نماذج الأسقف وهو عبارة عن أطار من الصلب ترتكز عليه أطراف النموذج أو تثبت فيه حسب الحاجة وهو محمول على أربعة أعمدة غير قابلة للتأثر بتحميل النموذج ويقاس الترخيم على المؤشر الملاصق لأسفل السقف بواسطة الميكروسكوب الأفقي المبين بالشكل .

ويتكون الحمل الموزع من مكعبات من البرونز والحمل المركز من قطعة من كرة من الصلب تبقى متزنة في وضع رأسى وتلامس السقف في نقطة تقريباً .

وقد أدت التجارب في الحالات الممكن حسابها إلى نتائج مطابقة لنظريات المرونة .

ويبين الشكل (١٣) سقفاً مربعاً بعد تحميله بحمل موزع . وتدل خطوط الترخيم على الشكل الطبوغرافى للسقف . وقد حذف العزم في الوسط وحسبت فروقات الترخيم

ومنها المساحة التأثيرية للحمل المتحرك بطريقة المفصلة كالمعتاد

وفي شكل (١٤) رسم السقف المشطور للممر كانتون
شتراس في سويسرا. وقد دعا إلى تجربته اختلاف قيم الترخيم
المقاسة عند مرور القطارات عن القيم المحسوبة ويبين
الجدول الوارد بالشكل عدم صلاحية الطرق الحسابية المعروفة
لهذه الحالة اذ يبلغ العزم التصميمي نحو ٦ أمثال العزم الحقيقي.
وقد أدت نتائج الفحص على النماذج إلى توفير كبير في
ممرين أنشأ بعد الممر المذكور .



